Propultsio eta Lebitazio Magnetikoak
Aplikazio batzuk



Aitor Martin
Unai Martinez
Erlantz Merikaetxebarria

Ingeniaritzaren Oinarri Fisikoak; 2007-2008
Industria Elektronikan Ingeniaritza Teknikoa
Bilboko IITUE

Aurkibidea

1. Sarrera 3.Orria
2. Historia eta Maglev motak 5.Orria
   2.1 PMS (Permanent Magnetic System)..............................6.Orria
   2.2 EDS (ElectroDinamycal System) 6.Orria
   2.3 EMS (ElectroMagnetic System) 7.Orria
3. Magnetismoaren oinarriak 9.Orria
4. Lebitazioa 12.Orria
5. Kontrol sistema elektronikoa 15.Orria
6. Motor sinkronoa 17.Orria
7. Konklusioa 23.Orria
8. Bibliografia 24.Orria

1. Sarrera

Izenburuak aditzera ematen duen bezala, hurrengo orrialdeak beteko dituen lan monografikoaren oinarria indar magnetikoaren aplikazioa izango da, lebitazio eta propultsioak lortzeko. Erabilerak anitzak dira, esparru hain zabala izanik. Ezagunena, edo entzutetsuena behintzat, trenetan erabilera dugu, orain dela zenbait urte telebistan azaldu baitzen teleberri guztietan. Baina EHU/UPV-n esaterako, badaukagu beste helburu ezberdinen bila ikertzen dabilen talde bat, GAUDEE izenekoa. Bertako kideen ikerketa baten helburua kojinete magnetikoak dira. Kontrol-sisteman oinarritzen dira, hain zuzen ere, baina sistema bera energia gordetzeko bide ezinhobe bezala aurkezten zaigu. Marruskadurarik ez dago, beraz guk desiratutako masa etengabe biratzen mantentzen du. Bertan mantenduko da guk sartutako energia, zinetiko modura, atera nahi izan arte. Beraz, gertu dugun teknologia da, oraindik nahiko ezezaguna eta aukera anitzekoa.

Hala ere, guk erakarpen elektromagnetikoaren bitartez plataforma bat oinarriarekiko milimetro gutxitara mantenduko duen sistema aztertuko dugu. Sistema hau, eskalak mantenduz, **MAGLEV**-etan erabiltzen den berdina dugu, edota indar magnetikoz lebitaturiko trenetan, ingeleraz ***MAG****netically* ***LE****vitated* ***V****ehicles*. Badaude tren hauetan erabiltzeko diseinaturiko beste sistema batzuk. Hauek aipatuko ere egingo ditugu, baina sakontasun handirik gabe.

Garraiora zuzendutako indar magnetikoaren erabilerak, lebitazio eta propultsio erara, hamaika abantaila ditu pareko helburuak dituzten sistemekin konparatuz gero, haien artean, abiadura handia, eraginkortasun itzela energiaren aprobetxamenduan, talka murriztuagoa ingurunean eta ez du erregai fosilen beharrik.

Aplikazio honek, praktikan, ingeniaritzen diziplina ezberdin asko batzen ditu bere baitan, hala nola, mekaniko, elektrikoa, elektronikoa, neurketa eta kontrola. Denak ez dute orain gure interesekin bat egiten. Hori dela eta, ikasgaian eta guk egiten ari garen espezialitatean oinarrituta atal zehatzak aztertuko ditugu. Alde batetik lebitazioaren azalpen fisikoak eta hauek frogatzeko beharrezkoak diren balorazio kualitatiboak aztertuko ditugu. Propultsioarekin ere berdina egingo dugu, oraingoan elektrizitatearen esparruan sartuko gara motor sinkronoaren funtzionamendua ikusteko, hau baitugu bere oinarria. Azkenik, kontrolaren garrantzia aipatuko dugu eta, elektronikoak izanik, sistemaren gutxi gora beherako nondik norakoak aipatu, etorkizunean hau izan bailiteke gure zeregina honelako proiektuetan.

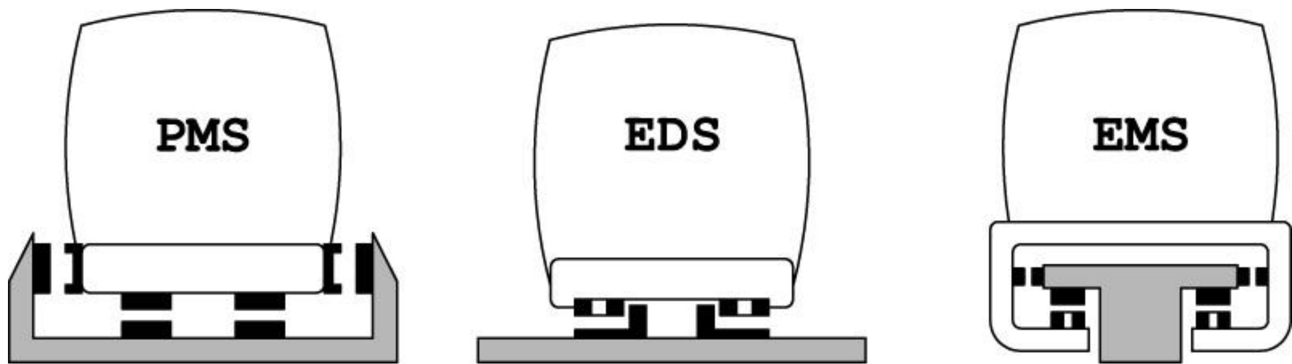
Aipaturiko proiektuak aspaldi jarri zituzten martxan batez ere Alemania eta Japoniako ikertzaileek. Hala ere, nahiz eta buru belarri aritu diren azken hamarkadetan, oraingo garapen maila ez da sistema hauek behar bezalako merkataritza-hedapena izateko nahikoa. Erronka anitz daude oraindik gainditzear. Garrantzitsuenen artean ekonomikoa daukagu. Hala ere, badaude funtzionamenduan zenbait prototipo munduko toki ezberdinetan, baita komertzialak ere, batez ere Japonen.

2. Historia eta Maglev motak

Esan bezala, aspaldi hasi ziren lebitazio magnetikoan oinarrituriko ikerketak. Hermann Kemper-ek bazuen lebitazio magnetikoaz higitutako tren baten ideia 1922an eta, nahiz eta 12 urte geroago patentea lortu, garai hartako teknologiak ez zuen eraikuntza ahalbidetzen. Hori dela eta 1962an hasi ziren Japonen ikerketak, eta 1969an Alemanian. Hala ere, 70eko hamarkadan izan zuten benetako aplikazioetan oinarritutako lehenengo patenteek jaiotza. Garai hartan makina bat zientziala eta ingeniari jarri ziren teknologia berri horretan lanean, MSTS (*Magnetically Suspended Transportation Systems*) edo Maglev izenekoa. Bakoitzak bere kabuz burutu zituan nahi beste froga, prototipo eta garapen.

Guztiek zituzten gurpilaren akatsak buruan: karga mekaniko puntuala, abrasioa, zarata, bibrazioa, gida baten beharra, frikzioan oinarritutako propultsio eta balaztatzea, eta abiadura muga. Bazekiten MSTS-ak akats horietako asko gaindi zitzakeela eta horren bila zebiltzan. Amankomuneko helburuak frikzioa ezabatzea zen, baina propultsioan, bai balaztatzean, bai norabidea aldatzerakoan. Hori dela eta, egun, abiadura handiko ibilgailua dugu (500 km/h), azelerazio handikoa (1 m/s2), erradio txikiko kurbak dituen ibilbidea jarraitu dezakeena, 16º baino gehiagoko inklinazioa duten aldapak igo ditzakeena, zarata murriztua duena (atal gehienak finkoak baitira) eta energia/abiadura erlazioa bikaina dituena.

Baina, logikoa denez, banandurik lan egin zuten taldeek ez zuten sistema berdina garatu. Batez ere hiru teknologia nagusitan batu ditzakegu: PMS (Permanent Magnetic System, EDS (ElectroDinamycal System) eta EMS (ElectroMagnetic System).



2.1 PMS (Permanent Magnetic System)

Japoniarrek batez ere garatu zuten sistema hau. Imanak ibilgailuan eta bidean kokatzen dira, finkoak eta poloak berdinak izateko kokatzen dira. Era honetan aldarapen indarra jasaten dute eta hauen ondorioz mugitzen da trena. Nahiko garestia da sistema honen muntaia besteekin konparatuz. Hori dela eta, 1972 eta 1973 urteetan zenbait froga egin ostean alde batera utzi zuten, EMS-arekin jarraitzeko.

2.2 EDS (ElectroDinamycal System)

Sistema honetan, lebitazio, propultsio eta norabide sistemak bateratu egiten dira. Aurrekoa bezala, aldarapen indarrean du oinarria. Ibilgailuan kokatutako bobina superkonduktoreek dute indar magnetikoa eta abiadura nahikoa sortzen dute. Hala ere, sistema honek badu arazo bat: 100 km/h baino gehiagoko abiaduretan baino ez dabil. Bertatik bera beste sistema baten beharra dago, betiko gurpila kasurako. Bobinek induzitutako korronteek balaztatzeko indarrean eragin zuzena dute. 50 km/h-tan dugu

eraginkortasun handiena. Hortik behera jaitsiz doa eta 400 km/h-ra %3-koa baino ez da. Aldarapen eta balaztatze indarren artean nolabaiteko parekotasun fidagarria mantentzeko, ibilgailua 150 kn/h-tik gora erabiltzen da.

2.3 EMS (ElectroMagnetic System)

Alemaniarren garatutako sistema dugu hau, eta erakarpen indarra erabiltzen duen bakarra. Ibilgailuan kokatutako elektroimanek eta material ferromagnetikoz osatutako bideak dira horren sortzaile. Indar magnetikoaren ezegonkortasuna dela eta, nahiko zaila da bidea eta elektroimana banatzen dituan aire tartea kontrolatzea. Hori dela eta, ezinbestekoa dugu sistema honetan kontrol sistema eraginkor baten sorrera. Elektroimanak korronte zuzenez elikatzen dira, eta lebitazio funtzioaz gain norabidea erregulatzeko ere erabiltzen dira. Atal ferromagnetikoak bide osoan zehar kokatuta agertzen dira. Sistema hauek eta motor lineal baten oinarritutako propultsiokoa guztiz independenteak dira. Alde batetik lebitazioa dugu eta bestetik propultsioa, aurrekoetan ez bezala. Hori dela eta, lebitazio maila edo aukera ez da abiaduraren funtsean agertzen.

Kontrol sistemaren eraginkortasuna ezinbestekoa dugu sistema honetan, batez ere abiadura handietan. Ondorioz, diseinu erredundanteak sortzen dira. Aldaketak eragiten dituzten arrazoi nagusiak karga aerodinamikoak, piezek fabrikazio emaitza irregularrak eta kargaren ondorioz bideak jasan ditzakeen aldaketak. Diru kontuak direla eta, ezin ditugu fabrikazio emaitza itzelak eta materialen primerako portaerak eskatu. Hauxe konpentsatzeko, kontrol sistemak guztiz fidagarria izan behar du lebitazio maila behar den puntuan mantentzeko.

Aipatutako hiru sistemetan erabiliena azkenekoa dugu, erakarpeneko

elektrodinamikakoa bezala ere ezaguna. Hauxe baitugu guztien artean fidagarriena esparru guztien batazbestekoa eginez gero. Eta horixe, fidagarritasuna, dugu edozein produktu merkatuan jartzeko ezinbesteko baldintza. Hori dela eta, hemendik aurrera kasu honen sistema ezberdinak landuko ditugu. Lehenik eta behin magnetismoaren oinarriak aurkeztuko ditugu, zertaz ari garen ikusi ahal izateko. Ondoren lebitazio sistema aurkeztu eta funtzionamendua azalduko dugu. Eta azkenik propultsioaren errudun den motor sinkronoaren ordua helduko da.

3. Magnetismoaren oinarriak

Lan honetan zehar, hau da lebitazio eta propultsio magnetikoak, magnetismoan dauden polo ezberdinen artean ematen diren elkarrekintzak etengabe erabiliko dira. Eta hauen zergatia izango da aztertu beharreko lehenengo puntuetariko bat, elkarrekintza hauetan baitaude oinarrituta propultsioa eta lebitazio magnetikoa.













Lebitazio eta propultsio magnetikoan magnetismoan ditugun bi efektu garrantzitsuenak erabiltzen dira. Alde batetik bi polo ezberdinen arteko erakarpena eta bestetik bi polo berdinen arteko alderapen indarrak, lehenengoa propultsioan erabiliko da eta, gure kasuan bigarrena lebitazioan, nahiz eta, ikusi dugunez, badaude erakarpenean oinarritutako lebitazio sistemak.

Naturan topa dezakegun edozein elementu magnetiko beti bi polo ezberdinez osatua egongo da, iparra eta hegoa deiturikoak. Bi hauen arteko elkarrekintzen ondorioz aipatutako bi efektuak izango ditugu. Ez da inoiz iman bat topako polo bakar bat duena, hau da monopolo magnetikorik ez da existitzen.

Esan bezala beti bi polo izango ditugu edozein elementu magnetikotan eta hau honek sortzen duen eremu magnetikoaren lerroak itxi egiten direlako da. Iparretik eta hegora doazen eremu lerroak existitzen dira, iparretik irten eta hegora sartzen dira eta ondoren elementuaren

barnetik doaz hauek berriz ere iparretik irten arte.

Hau horrela dela suposatuta, eta honela da, ikusi dezakegu zelan iparretik irteten diren eremu lerro hauek beraien aurrean hego polo bat topatuz gero bertara joango ziren eta honen ondorioz bi polo ezberdin hauek hurbiltzera joko zuten. Esandakoa eremu elektrikoarekin gertatzen bezalako azalpen erraz bat egiteko erabiltzen dugu bi fenomenoak errez ulertu ahal izateko.

Eremu lerroen azalpen honekin imanekin eman daitezkeen bi fenomeno ezberdinak esplika ditzakegu, hau da bi polo berdin bata bestearen aurrean jarri edo bi polo ezberdin elkarren aurrean jarri. Esandako bigarren kasu hau lehen azaldu dugu, bi polo ezberdinak elkarren aurrean jartzean baten eremu lerroak bestera hurbilduko dira bien artean erakarpen indar bat sortuz. Eta bestetik bi polo berdin jartzean biak elkar aldendu egingo dira, bietatik eremu lerroak irten zein sartu egingo dira beraz ezin dute elkarrekin erlaziorik izan. Eremu lerro hauek sarkorrak edo irtenkorrak izango dira bi kasuetan, beraz batek dituenak bestearekin ezingo du elkarrekintzarik izan eta honela bien polo berdinak elkarrengandik aldendu egingo dira.

Bi elkarrekintza hauek dira esan bezala propultsio eta lebitazio magnetikoaren oinarria. Propultsio magnetikoaren kasuan ez dugu bestearekin gertatzen den bezala bi fenomenoak erabiltzeko aukera. Propultsioaren fenomenoa geroago azalduko da baina esan behar dago fenomeno hau polo ezberdinen arteko erakarpen indarrengatik ematen dela, motor linealen oinarria hori da.

Bestalde lebitazio magnetikoan fenomeno biak erabilgarriak dira. Alde batetik bi polo berdinen arteko aldarapen indarraren ondorioz mugikorra ez den partean eta mugikorra den partean polo magnetiko berak

elkarren aurka jarriz gero mugikorra den atala lebitatzen egongo zen, bi polo berdinen aldarapenagatik. Baina bestalde MAGLEV sisteman, Alemaniako kasuan, bi polo ezberdinen arteko erakarpena erabiltzen da.

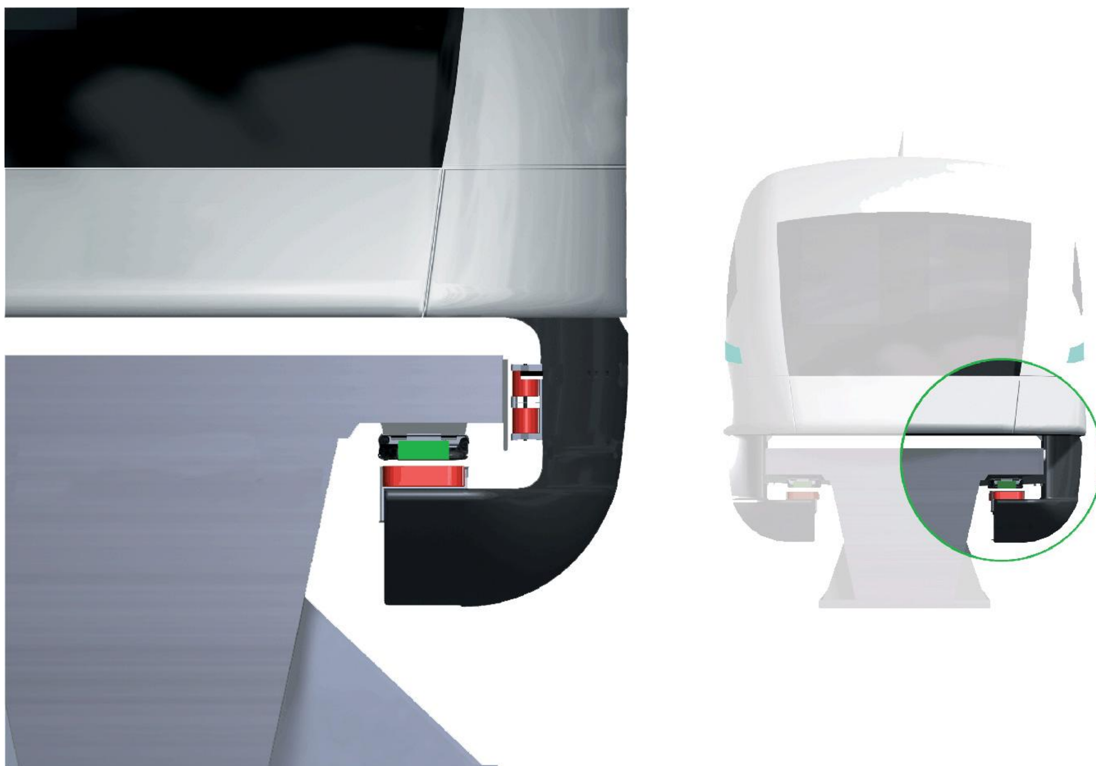
T formako oinarri baten gainean U inbertituko forma, baina izkinatan pixka bat itxiak, duen plataforma bat jartzean berau lebitatzea lortzen da. T formadun oinarriaren azpitik polo bat jartzen baldin bada eta U formako bogian pixka bat itxitako zatian beste poloa jarriz gero bi hauek erakartzea lortuko da U formadun bogia gorantz eginez. Azken hau alboko irudian hobeago ikusiko da.



4. Lebitazioa

Aipatu berri dugun bezala, EMS sistemak erakarpen indarrean du oinarria. Aurreko atalean azaldutako efektua lortzeko xedez, elektroimanak eta material ferromagnetikoak erabiltzen dira. Elektroimanek, jasaten duten korrontearen arabera, indar magnetiko handiago edo txikiagoa sortuko dute, eta, ondorioz, material ferromagnetikoa erakarri egingo dute. Beraz, material ferromagnetikoak egon baino ez du egin behar, ez dugu honi korronterik aplikatzeko beharrik. Hori dela eta, eta gastuei begirada bat botaz, elektroimanak trenean kokatuta joango dira, askoz merkeagoa baita hori bide osoa elektroimanez jostea baino.

Gainera, sistemak honek badu diseinuan bitxikeria bat, trena ez dago zuzenean bide gainean kokatuta, baizik eta honen behealdean geratzen dira imanak. Bideak “T” itxura hartzen du, profilez begiratuta, eta trenak inguratu egiten du. Horren arrazoia ez dakigu ziur, baina baliteke higidurak



sortutako karga aerodinamikoaren kontrola egiteko sistema bat izatea, eta, aldi berean, honen indarra aprobetxatzeko. Abiaduraren ondorioz goranzko indarrak jasan ditzake trenak, eta hau zuzenean goian egongo balitz, sortutako erakarpen indarraren kontra egingo luke. Era honetan, indar horiek faborean agertzen dira, beraz kontrol sistemak indarra lasaitu beharko luke, berriztatu ordez. Horrek, etekin ekonomikoa ere badakar, indar aurrezten baitugu. Beste alde batetik, diseinua horrela izanda, trena bidetik ateratzea askoz zailagoa suertatzen zaigu. Baliteke abiaduraren ondorioz zuzenean hautsi eta bidetik ateratzea, baina abiadura baxuko modeloetan arriskua zeharo murriztuta agertzen da.

Elektroiman horiek, bobinek, eragindako indar magnetikoa erregulatzeko, esan bezala, korrontea erregulatu beharko dugu. Korronte honen erregulazioa jasan beharreko kontrako indarren menpe egongo da, eta sentsore baten bidez erregulatuko dugu, beti guk definitutako tarte seguruan mantendu dadin.

Kasu praktiko batetan erabilitako bobina moten funtsean egongo lirateke kalkuluak. Material ferromagnetikoa zein den ere kontutan izan beharko genuke. Trenak garraiatu beharreko pisua. Eta beste hainbat aldagai. Modu errazean kalkuluak ulertzeko, formula orokorrak erabiliko ditugu. Hau da, bobinaren espira kopurua, honetan zeharreko korrontea eta sostengatu beharreko pisua baino ez ditugu kontutan izango. Eredua behar baino gehiago ez nahasteko, lau bobina dituen tren txiki bat erabiliko dugu, laborategian muntatzeko bezalakoa.

Tren hau, demagun, 5 kilogramo jasateko prestatuko dugu, eta estrukturak berak 2,5 kilogramoko pisua du. Beraz, 7,5 kilogramo jasan beharko dute gure lau bobinek, laurdena bakoitzak, pisua era uniformean banatuta dagoela suposatuz.

$$F = m \cdot a \Rightarrow F = 7.5kg \cdot 9.8\frac{m}{s^2} = 73.5N \ \Rightarrow \ \frac{73.5N}{4} = 18.375N/bobina$$

Korrontea duten espiraz inguraturiko material ferromagnetiko batek zirkuitu magnetiko bat adierazten du, zeinean indarra bobinaren espira kopurua eta intentsitatearen funtzioan agertzen den. Adibidez, gure eredu hipotetikoan 50 espira dituzten bobinak erabiliko bagenitu, hauxe izango litzateke bobina bakoitzak beharko zuen korrontea:

$$F = N \cdot I \Rightarrow \frac{F}{N} = I \Rightarrow I = \frac{18.375N}{50espira} = 0.3675A/bobina$$

Paraleloan konektatuz gero: $I_{Totala} = 1.47A$

Gogoratu behar dugu kalkulu hauek oso orokorrak direla, ez ditugu ekuazioan sartu beharreko makina bat parametro kontutan hartu, hala nola burdin gozoaren propietateek determinatutakoak.

Norabiderako ere antzeko sistema erabiltzen da. Kasu honetan, imanak bertikalean kokatuta egon beharrean, horizontalean agertuko dira, hau da, albo biak erakarriko dituzte. Kasu honetan inertzia indarrek dute pisu edo karga aerodinamikoak baino garrantzi handiagoa. Hala ere, sistema aurrekoaren oso antzekoa litzateke, baloreak, egoera kontutan izanik, aldatuz.

5. Kontrol sistema elektronikoa

Kontrol sistemak, gure espezialitatea kontutan izanik, garrantzi berezia du azaltzen ari garen sistema hauetan. Etorkizunean hori izango bailitzake gure zeregina halako proiektuetan. Nahiz eta orain arteko ezagutzek ez diguten maila altuan zirkuituen diseinua ulertzen, ez dugu oinarrizko ideiak nolakoa diren jakiteko arazorik izango eta inoiz ez dator txarto gutxi gora beherako argibideak izatea.

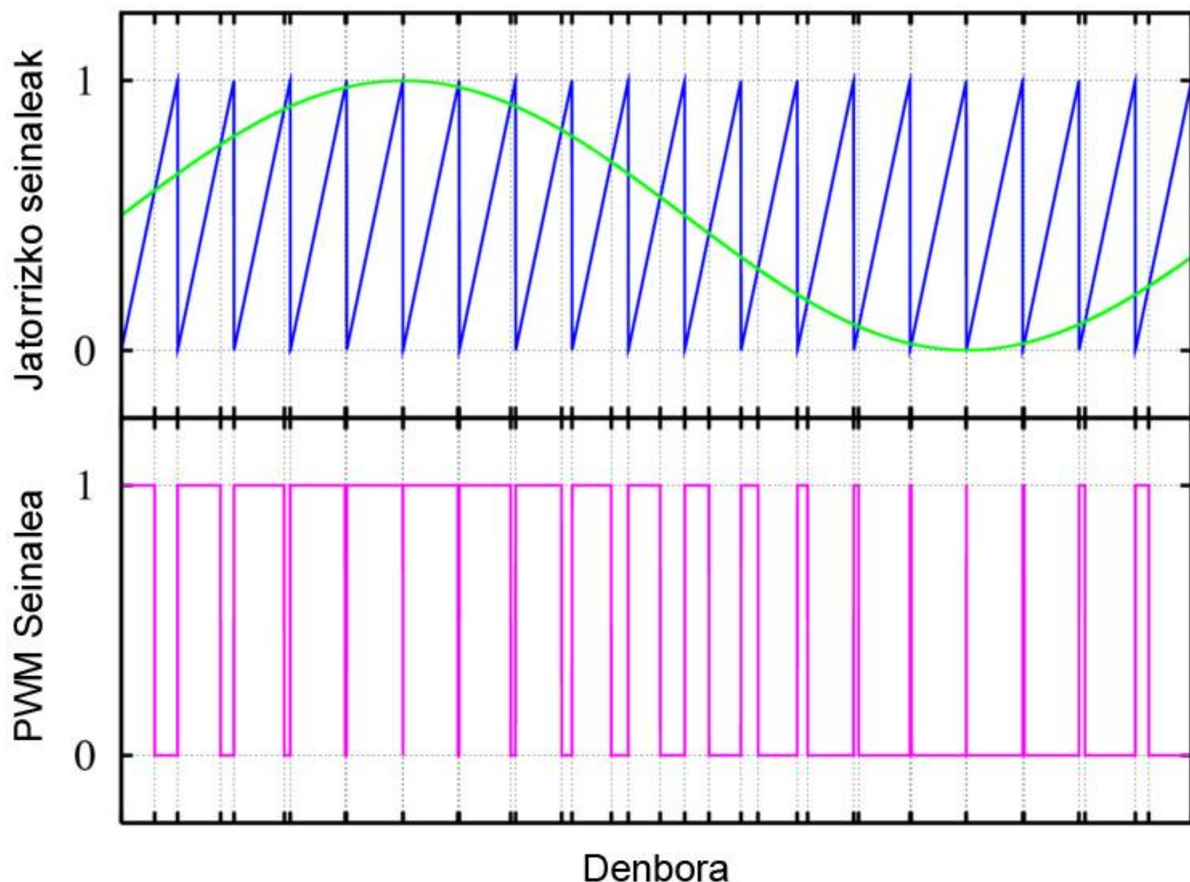
Kontrol sistemaren oinarria sentsore bat dugu. Merkatuan hamaika mota, modelo eta fabrikatzailea dauzkagu, sentsore batez hitz egitea oso orokorki egitea baita. Pixka bat gehiago zehaztu ahal izateko, badauzkagu bi baldintza, hiru hobe esanda. Alde batetik ez dugu neurtu beharreko bi gainazalen artean lotura mekanikorik. Bestetik, eremu magnetikoak ezin du sentsorean eraginik izan, ez eta sentsoreak eremuan, nahi eta bigarren hau zailagoa den. Azkenik, neurri oso txikiak neurtu behar ditu, 2 mm inguruan, eta zehaztasun handia behar dugu. Baldintza hauek kontutan izanik teknologia optoelektronikoa ezin hobea dugu.

Funtzionamendu sinplifikatua hurrengoa litzateke: diodo batek argi izpi bat bidaltzen du gainazal baten kontra. Honek bertan errebotatu eta zirkuitu integratuan dagoen beste diodo batek jasotzen du. Honela integratuak badaki zein den distantzia. Horren arabera seinale zehatz bat aterako du bere irteeratik.

Behin seinale hori izanda, tratatzeko bi aukera dauzkagu. Berriz ere aukeratu beharrean gaude. Aukera batek, analogikoa esan diogu, korrontea erregulatzen du jasotako seinalean arabera, modu linealean esango genuke. Distantzia handitzean, zertxobait handituko da intentsitatea, txikitzean, aldiz, jaitsi. Bestea, guretzat digitala izango dena, PWM sisteman edo

pultsu zabalera modulazioan oinarrituta dago. Honek erabakitzen du denbora tarte zehatz bakoitzeko zenbat egongo den bobina aktibatuta eta zenbat amatuta. Hau da, korrontea beti dugu berdina, aldaketa denborak jasaten du. Honen arabera, bobinak pultsu ezberdinak jasaten ditu. Adibiderako segundo bat erabiliko dugu. Segundo bakoitzeko 800ms-tan aktibatuta badago, indarra zeharo handiago izango da 400ms-tan piztuta egongo balitz baino. Honek korrontearen erregulazioan arazoak kentzen ditu, beti izango baita konstantea.

Sistemak berez nahiko konplexuagoak dira, seinalea jaso, eraldatu, bidali, berriro re eraldatu eta beste hainbat ekintza jasan behar baitituzte. Baina orokorrean hauek dira dauden aukerak.



6. Motor sinkronoa

Propultsio magnetikoari buruz hitz egiten dugunean indar magnetikoekin bidez elementu bat mugitzeari buruz ari gara. Hau lortzeko eremu magnetiko konkretu batzuk beharrezkoak dira beronek sortutako indar magnetikoak propultsatu nahi den elementua nahi den indarrarekin eta nahi den abiadurarekin mugiarazteko. Gure kasuan propultsio magnetikoa motor sinkronoaren bidez lortzen da, pentsa daiteke motorra ez dela propultsio magnetikoa baina egiatan bada, propultsioaren oinarri garrantzitsua da.

Beraz propultsioarekin hasi baino lehen motor sinkronoaren funtzionamendu printzipioa azaldu beharra dago, honen forma aldaketa baten bidez propultsio magnetikoa lortuko baitelako.

Motor sinkronoa korronte alterno trifasikoz elikatzen den makina bat da. Bere funtzionamenduan errotoreak duen abiadura eta estatorean harilkatuek sortzen duten eremu magnetikoaren aldakuntzaren abiadurak berdinak dira, honegatik sinkronoak deitzearena. Oinarri bezala ferra formako bi iman irudikatu behar ditugu distantzia batera jarriak, bati A deituko diogu eta besteari B. A imanak biratzen duenean eremu magnetiko birakor bat osatzen ibiliko gara, honen ondorioz A imanaren poloek B imanaren aurkako poloak erakartzen ibiliko da nahiz eta ez egon inongo lotura mekanikorik B imanak A imanaren abiadurara biratzen du.

Esandako honekin argi gelditzen da zergatik motor honi sinkronoa deritzon A-ren abiadura izango baitu B imanak guztiz sinkronizatuta joanez bi imanak. Fenomeno hau bi imanekin egiten dena motor sinkronoaren oinarria da.

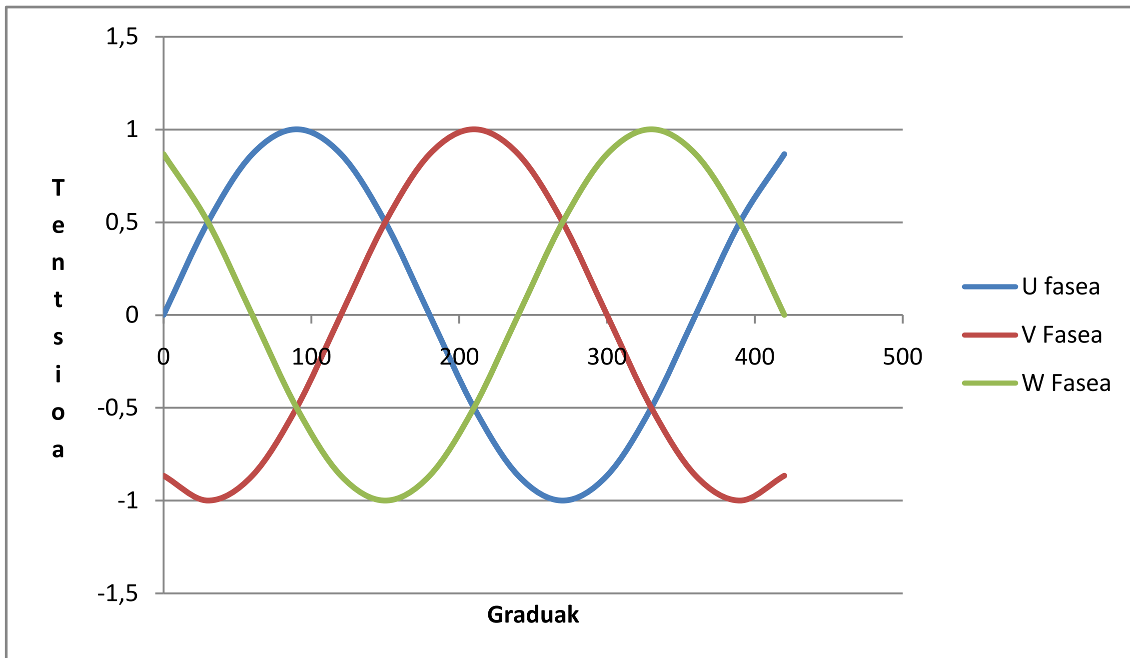
Motor sinkronoaren kasuan estatorea eta errotorea izango ditugu.

Guk nahi duguna errotoreak biraraztea da eta hau aipatutako oinarriarekin egingo da. Errotorea B imana bailitzan hartuko dugu non bi polo ezberdin izango dituen. Estatorea bere aldetik A imana izango dugu non eremu magnetiko birakaria osatuko den. Hau korronte alternoaz lortuko da, momentu batzuetan tentsio positiboetan egongo garelako eta beste batzuetan tentsio negatiboetan estatorean dauden harilkatuetako elektroimanen polaritatea aldatuz, hau eginez batzuetan positibo eta beste batzuetan negatibo izatea lortuko dugu, hobeago esanda hego eta iparraren posizioak aldatzen dira.

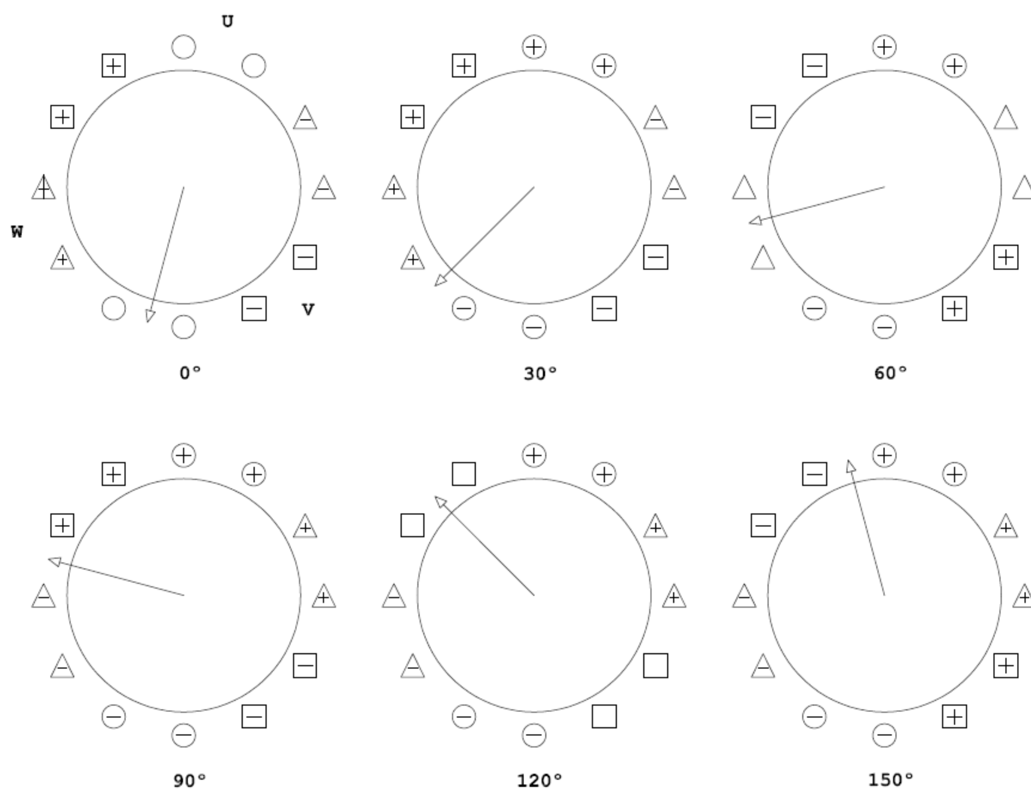
Estatoreko imanen poloak aldatzen ditugunean errotoreak dituen aurkako poloak estatoreak sortutakoei hurbilduko zaie eta hau egitean estatoreko poloak berriz ere aldatuko dira horrela errotoreko poloak besteei jarraitzen ibiliko dira. Era honetan errotoreak tentsioak sortzen dituen poloen aldaketaren abiadura berdina lortuko du sinkronismo abiadura hori lortuz.

Hau guztia tentsio monofasiko bati buruz hitz egiten ibiliko baikina bezala hari gara baina egiatan motor hauek tentsio trifasikoz elikatuak daude, hau da hiru harilkatu ezberdin daude eta hauekin polo aldaketak egitea lortzen da. Errotorea bere aldetik iman naturalez osatua egon daiteke bi polo ezberdin osatuz edota kanpotik korronte zuzenez elikatuta egon daiteke potentzia handiagoko elektroiman bat sortuz aldaezinak diren bi polo sortuz.

Biraketa prozesua trifasikoaren kasuan ondo ulertzeko grafiko baten bidez errez ulertuko dugu. Tentsioen grafikoarekin hiru harilkatuen imanen poloak zeintzuk diren jakingo dugu eta istant ezberdinetan errotoreak dituen bi poloak zein noranzko duten ikusiko da motorraren funtzionamendua ondo ikusiz.



Ikusten denez hiru harilkatuetan egongo den tentsioa aldiune bakoitzean ezberdina izango da. 30ºko atalak hartzen joanez gero ikusiko dugu zelan harilkatuen imanek polaritate ezberdina hartuko duten.



Honela 0ºtan U faseak ez zuen imanik sortuko baina V-k eta W-k bai sortuko zuten irudian ikus genezaken bezala, eta honela jarraituz 30ºtako

tarteak hartuz ikusten dugu irudian.

Marrazki guztietan errotorean dagoen polo negatiboaren eskumatik harilkatuetan sortzen den polo positiboa dago. Honek errotorea eskumatara mugitzea ekarriko du eta honela denbora osoan bira zati bat egitean alboko poloak berriz ere pixka bat mugitu direlako. Era honetan errotoreak sinkronismo abiadura lortzen du, estatoreko tentsioen frekuentziak aldatuko bagenitu arinago edo astiroago poloak aldatuz errotorearen abiadura aldatzen ibiliko ginateke.

Azken hau motor hauei dagokion formularen bidez lortu genezake eta hau izango da guri inporta zaigun propultsio magnetikorako garrantzitsua. Frekuentzia aldatuz poloen aldaketa kontrolatuko da eta honekin abiadura.

Beraz, hau guztia azaldu ondoren propultsioa errez uler genezake. Propultsio sistemarako motor hauen oinarria erabiliko dugu.

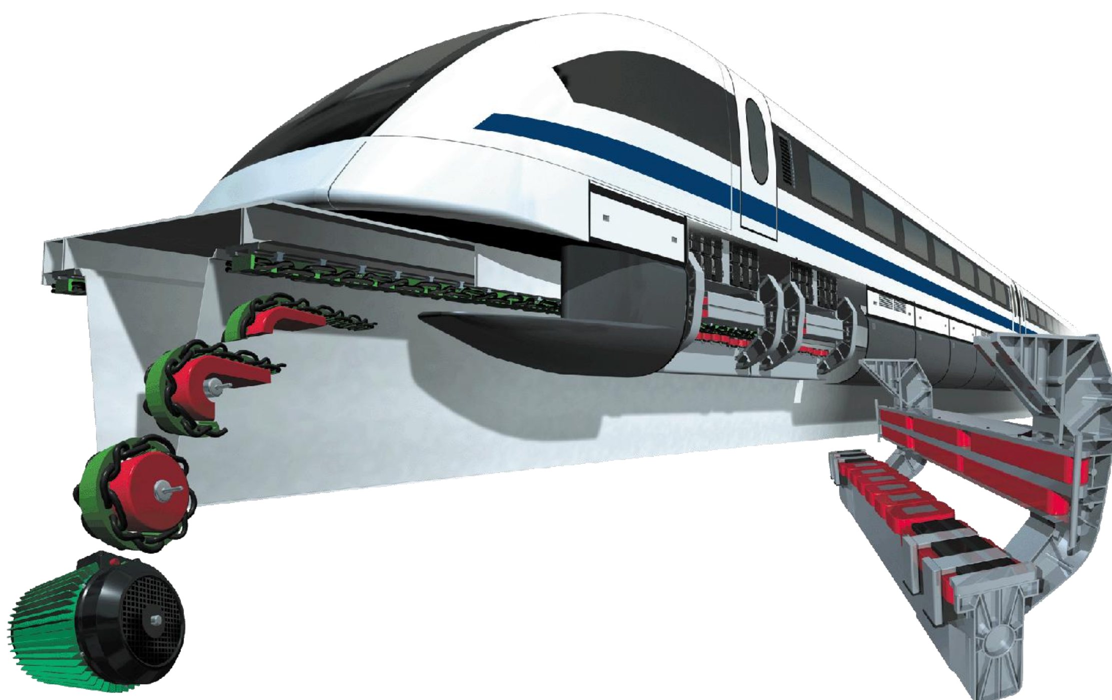
Motorra bere bi atalak hartuz zilindro forma duena era luze batean jarriko ditugu, irudian agertzen den bezala.

Era honetan propultsio magnetikora hurbiltzen joango gara. Estatoreko zatia berdin jarraituko du estatiko, propultsioa eman behar den tokitik zehar linealki banatuta joango da. Errotoreko zatia, berriz, propultsatu nahi den elementuan jarrita joango da, era honetan motor sinkrono batetik motor lineal batetara pasa gara eta propultsio magnetikoa deritzona baimenduko duen sistema izango dugu. Irudian azaldutako azken bi zati hauek ondo bereiz ditzakegu.

Kolore berdez dagoena estatoreko harilkatuak dira eta gorriz dagoena berriz errotoreko polo aldaezineko imanak dira.

Motorrari dagokionez azaldu dugu errotorearen mugimendua poloen arteko erakarpenaren ondorioz ematen den fenomenoa dela, orain propultsioaren kasuan ere mugimenduaren zergatia ere berdina izango dugu.

Bidetik zehar dagoen estatoreko harilkatu guztiak tentsio trifasikoaz elikatzerakoan aldakorra den eremu magnetiko bat osotuko dute. Beste era batera esanda harilkatuetan sorturiko polo magnetikoek balioz aldatzen joango dira eta polo hauek errotoreko, trenaren, polo aldaezinak erakarriko dituzte. Erakarpen hau ematen denean trena mugitzen hasiko da aurrerantz baina behin aurrera mugitu den zati hori mugitzean estatoreko, bideko, poloak berriz ere balioz aldatu egingo dira aurreko indar berdin bat sortuz eta trenak aurrera mugitzen jarraituko du.



Ikusten denez trenak estatorean ematen diren polo aldaketen abiadura jarraitzen joango da, motor sinkronoaren antzera. Polo aldaketa honen arabera trenak abiadura bat edo beste izango du beraz motor sinkronoan gertatzen zen bezala errotoreko, treneko, abiadura tentsio trifasikoak duen frekuentziaren arabera egongo da.

Frekuentzia handiagoak jartzen baldin badira poloen aldaketak arinago emango dira eta errotorea, trena, beti bere aurkakoa den poloaren bila joango da, beraz bere abiadura handituko da aurkako polo hori aurkitzeko asmoarekin. Esan dezakegu beraz trenaren abiadura kontrolatzeko eremu magnetikoaren aldakuntza kontrolatu behar dela. Eta hau frekuentzia kontrolatuz egingo dugu, frekuentzia txikiak abiadura txikietarako erabiliko da eta handitzen joanez gero azeleratzea lortuko da.

7. Konklusioa

Suertatutako gaiari buruz informazioa pilatu, aztertu eta hemen aurkeztu dugun txostena burutu ostean, esan dezakegu eremu magnetikoak eskaintzen dizkigun aplikazioak zeharo interesgarriak suertatzen zaizkigula, nahiz eta oraindik bide luzea egon ibiltzear. Enbor bezala hartutako tren magnetikoez dugu orain arte garatuen dagoena, edo ezagunena behintzat. Urteak daramatza jada puntan, batez ere Alemania eta Japonen, baina hala ere jaioberria dela esan dezakegu oraindik. Sarreran aipatutako energia pilatzeko sistemak eta kojinete magnetikoen erabilerak ere hasiberriak dira, eta oso interesgarriak. Hamaika harresi daude gainditzear, haien artean eremu magnetikoak berezkoa duen ezegonkortasuna, era estatikoan erabiltzea zailtzen duena. Oraindik denbora beharko du, eta batez ere garapen, ikerkuntza eta berrikuntza taldeen interesa.

8. Bibliografia

Testu liburuak:

GUISASOLA, J., ALMUDí, J.M., CEBERIO, M., ZUBIMENDI, J.L. (2007-2008). *Ingeniaritzaren oinarri fisikoak ikasgairako "Aktibitate Programa II", IIT Industria Elektronika eta Elektrizitatea espezialitateak.*

JOSÉ MARÍA GARCÍA DÍEZ DE VILLEGAS (2001-2002). *Ferrocarriles, Apuntes de clase, Univerdidad de Cantabria*.

Artikuluak/Tesiak:

KAZUO SAWADA (2000). *Magnetic Levitation (Maglev) Technologies, Railway Technology today 12, 58-67 orr.*

GENGIS KANHG TOLEDO RAMÍREZ (2002). *Diseño, construcción y control de una plataforma de levitación magnética*.

VÍA LIBRE. 516 alea, 2008ko Otsaila, XLV urtea. *Fundación de los Ferrocarriles Españoles*.

Hitzaldiak:

JOSU JUGO, GAUDEE ikerketa kontrol aplikatuan. *ZITIG 2008 Hitzaldi zikloaren barnean aurkeztutako "Kojinete magnetikoak: marruskadurarik gabeko teknologia"*.

Web orriak:

Wikipedia gazteleraz. *Tren de levitación magnética*.

http://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_levitaci%C3%B3n_magn%C3%A9tica

Wikipedia gazteleraz. *TELMAGV.*

http://es.wikipedia.org/wiki/TELMAGV

International Maglev Board.

http://www.maglev.in/

Consumer.es EROSKI. *Infografía: Trenes Maglev*.

http://www.consumer.es/web/es/viajes/ideas_y_consejos/2008/01/27/174066.php

Levitación magnética. *Sistema convencional de levitación magnética.*

http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/maglev/11.htm